INSAtram

Alix ANNERAUD - Myriem ABID - Hugo LASCOUTS

22 décembre 2022

Table des matières

1 Introduction.

1.1 Présentation

Le nom du projet est « INSAtram ». Cela fait référence au mot « Tram » désignant un moyen de transport urbain. Ainsi, le jeu consiste en la construction et gestion d'un réseau de transport ferroviaire. Le concept n'est pas original. En effet, il à été inspiré du jeu « Mini Metro » de l'éditeur <>.

L'objectif du joueur est que l'acheminement des passagers vers leurs destinations soit optimal. Plusieurs stations qu'il faudra relier entre elles apparaissent au fil de la partie. Les passagers apparaîtront à côté de leur station de départ et emprunteront la ou les lignes qui desservent leur station afin d'atteindre leur destination. Certaines cartes pourront contenir des fleuves dès le début de la partie. L'identité graphique du jeu s'apparentera aux cartes de réseaux disponibles dans les transports en commun.

Les lignes reliant les stations seront de différentes couleurs, elles sont semblables à celles que l'on voit sur les vraies cartes de transport en commun. Lorsqu'une ligne est créée, un véhicule apparaîtra sur cette dernière et y fera des allers-retours. Il est possible de librement supprimer ou réorganiser les lignes à tout moment de la partie.

Les réseaux deviennent de plus en plus complexes au fur et à mesure de la partie, le joueur pourra recevoir des objets (items cités dans les fonctionnalités) à différents moments de la partie afin de l'aider dans la gestion des réseaux.

Enfin, le joueur perd lorsque son réseau n'est plus efficace. C'est-à-dire lorsqu'une station accueille un nombre de passagers supérieur à sa capacité pendant un certain temps.

1.2 Cahier des charges initial

Voici le cahier des charges initial. Les parties soulignées sont les fonctionnalités optionnelles et seront réalisées si l'avancement du projet le permet.

- **Interface graphique :** L'interface graphique comportera les éléments suivants :
  - **Menu de démarrage :** Il permettra de commencer une partie, de sélectionner un niveau de difficulté, de choisir une carte, de paramétrer l'échelle de l'interface graphique, de charger une partie à partir d'un fichier et également de changer le niveau du son. Il comprendra également un onglet "à propos" comprenant des crédits ainsi que des explications sur le jeu etc.
  - **Terrain de jeu :** Une fois que le joueur a lancé une partie, un terrain de jeu occupant tout l'écran sera présenté au joueur. C'est ici que les différentes entités apparaîtront au fur et à mesure. Un inventaire (interactif) et des indicateurs (statistiques de partie) sont affichés par superposition.
  - **Echelle :** Les coordonnées ainsi que la taille des différents objets graphiques seront relatives à la taille de l'écran (la proportion de l'écran occupée par l'objet). Cela permettra de rendre automatique la mise à l'échelle des éléments graphiques pour différentes configurations d'écran.
  - **Bilan :** A la fin de la partie, un écran de fin s'affiche présentant le score du joueur (calculé sur la base du nombre de semaines où le réseau était efficace et de voyageurs transportés).
  - **Couleurs :** L'interface graphique sera le plus épuré possible avec des couleurs simples et contrastées et le minimum de couleurs possibles. L'interface graphique disposera d'un mode sombre où les gammes de couleurs claires sont remplacées par des nuances plus sombres.
- **Temps :** Le temps sera organisé en jours et semaines (jour : ~20 secondes, 1 semaine : ~140 secondes). Ce système servira à déterminer en partie le score final du joueur. Il sera possible de stopper, d'accélérer ou de reprendre le temps.
- **Bilan :** Un bilan sera aussi proposé au joueur (comprenant des graphiques, cartes de fréquentation...) pour que le joueur puisse analyser ses performances.
- **Son :** Le jeu comprendra une musique de fond apaisante ainsi que des effets sonores pour mettre le joueur dans l'ambiance du jeu.
- **Objets :** Les objets sont les éléments que le joueur pourra disposer librement sur le terrain de jeu. Tous les objets seront présents en début de partie en quantité limitée et stockés dans un inventaire. A chaque semaine passée, le joueur obtiendra des récompenses qu'il pourra choisir entre 2 ou 3 objets proposés aléatoirement. Les objets seront les suivants :
  - **Locomotives :** Les locomotives sont les véhicules permettant aux voyageurs de se déplacer entre les différentes stations. Elles seront affectées par le joueur à une ligne en particulier et effectueront

des allers-retours sur cette dernière.
  - **Lignes :** Les lignes seront les infrastructures permettant aux locomotives de circuler de station en station. Elles seront dessinées par le joueur et pourront être modifiées au fur et à mesure de la partie. Les lignes seront représentées à la manière d'un plan de métro, c'est-à-dire en utilisant des lignes horizontales et verticales ainsi que des angles à 45° pour les virages.
  - **Wagons :** Les wagons sont des véhicules pouvant être ajoutés à une locomotive afin d'augmenter le nombre de passagers qu'elle peut transporter en une seule fois.
  - **Ponts :** En cas d'implémentation de topologie (ex : cours d'eau) sur la carte, ils seront utiles pour les franchissements d'obstacle.
  - **Technicien :** Si implémentation d'une fonctionnalité de détérioration des lignes, le technicien permet de restaurer l'état de la ligne.
  - **Surdimensionnement de la gare :** Les rames passant par une gare surdimensionnée passeront moins de temps à quai. Ces gares ont également une plus grande capacité d'accueil des passagers (peut accueillir 12 passagers au lieu de 6).
- **Entités :** Les entités sont les éléments qui seront disposés sur le terrain de jeu par le programme. Le joueur ne pourra pas interagir de manière directe avec les entités, c'est-à-dire qu'elles ne seront pas modifiables par le joueur. Les entités seront les suivantes :
  - **Stations :** Les stations sont de différentes formes géométriques et sont générées de manière aléatoire. Elles apparaîtront à des instants t déterminés par une fonction (linéaire puis éventuellement logarithmique/polynomiale). Elles seront disposées sur le terrain de jeu de manière homogène, c'est-à-dire en évitant les stations superposées ou trop proches et de même type (utilisation d'une carte de fréquentation).
  - **Passagers :** Les passagers seront également de différentes formes géométriques (correspondant à leur station d'arrivée) à côté des stations à des instants t déterminés par une fonction (linéaire puis éventuellement logarithmique/polynomiale). Ces passagers disparaissent une fois arrivés à destination. Un algorithme de résolution des graphes (pondéré en fonction de l'occupation des lignes et du temps de transit entre les stations) sera utilisé afin de calculer l'itinéraire des passagers.
  - **Fleuves :** Les différentes cartes comprendront un ou plusieurs fleuves qui feront office d'obstacle naturel et devront être contournés par le joueur en utilisant les objets qu'il a à sa disposition. - Animation : Les entités ainsi que les objets seront animés de manière à attirer l'attention du joueur sur les différents éléments (déplacement des rames, signalement d'une gare encombrée) affichés. Le niveau de détail de ces animations dépendra de l'avancement du projet.
- **Difficulté :** La difficulté du jeu se trouvera dans le fait de devoir fluidifier au maximum le trafic et d'adapter le réseau en fonction des nouvelles stations qui apparaissent, le flux de passagers ainsi que des différents aléas.
  - **Niveaux de difficulté :** Le joueur aura le choix entre 3 niveaux de difficulté (facile, moyen, difficile).
  - **Détérioration des lignes :** Les lignes auront une durée de vie limitée (en fonction du nombre de rames les parcourant) et pourront être sous la contrainte d'aléas naturels (feu, inondation etc.). Le joueur pourra alors les restaurer à l'aide de l'objet "Technicien".
  - **Fin de partie :** La partie prend fin une fois qu'une station est engorgée (quand plus de 6 passagers s'y trouvent) pendant un temps qui dépendra de la difficulté choisie. Un chronomètre apparaitra à côté de la/des stations surchargée(s) pour indiquer le temps restant au joueur. Si ce temps est dépassé (environ 30 secondes ; varie selon la difficulté) alors que la station est encore encombrée, le joueur perd.
- **Enregistrement et chargement de parties :** Le joueur pourra enregistrer ses parties dans des fichiers de sauvegarde ainsi que les charger. Cela contribuera également à la démonstration finale du jeu afin de charger une partie en cours et de faire la démonstration.
- **Fonctionnalités cachées :** Dans ce jeu, cela pourrait être une gare qui n'apparait que dans certaines circonstances, une blague accessible à certains joueurs chanceux...

2 Structure

2.1 Nommage

Afin que le code soit structure et facile à comprendre, nous avons adopté une convention d'écriture qui suit les règles suivantes :

— Langage : l'écriture du code en anglais nous semblais assez naturel, car cela est plus homogène avec le langage de programation lui-meme (écrit en anglais). Cependant, afin de faciliter le compréhension du code pour les correcteurs, nous avons utilisé du français pour les commentaires. Ces dernier par ailleurs suivent une certaines structure. Pour un commentaire faisant office de titre, « // » de « - ».

```
// - Section

// -- Sous-section

// Commentaire standard.
Procedure Station_Render();
```

— Constantes : Les constantes sont nommées

```
Const Station_Maximum
```

— Types : Tout types porte d'abord comme identifiant « Type_ » suivit de l'identifiant du type. Cet identifiant doit le plus court et le plus explicite possible. Par exemple la structure contenant une station s'appelle « Type_Station ». Dans le cas d'un type pointeur, il suffit de rajouter « _Pointer » au nom du type de base.

```
Type Type_Station = Record
        ...
End;

Type Type_Station_Pointer = ^Type_Station;
```

— Fonctions et procédures : Les fonctions et procédures portent généralement le nom de l'objet sur lequel elles agissent où de l'unité concerné, suivi d'un verbe (en général : « Get », « Set », « Refresh », « Render » ...) indiquant l'action effectuée et suivi éventuellement plus de précision sur l'action.

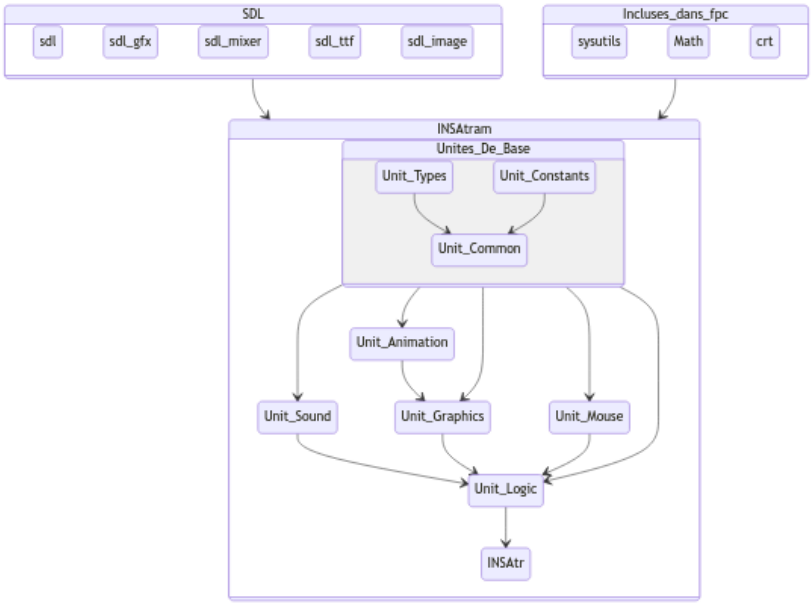
```
// Procedure rafraichissant les graphismes
Procedure Graphics_Refresh();

// Procedure qui rend graphiquement une station
Procedure Station_Render();
```

2.2 Structure générale

Le projet est structuré en plusieurs fichiers de la manière suivante :

— **Unit_Types :** Unité contenant tout les types
— **Unit_Constants :** Unité contenant toutes les constantes du jeu.
— **Unit_Common :** Unité contenant toutes les fonctions « élémentaires » permettants de simplifier le développement dans les autres unités.
— **Unit_Mouse :** Unité regroupant toutes les fonctions responsable de la prise en charge de la souris.
— **Unit_Animation :** Unité regroupant toutes les fonctions responsable des animations (déplacement des trains,).
— **Unit_Graphics :** Unité regroupant toutes les fonctions relatives aux graphismes.
— **Unit_Logic :** Unité regroupant toute la logique du jeu. C'est l'unité « mère » du jeu, celle qui est directement inclu dans le programme principal : « INSAtram.pas ».

FIGURE 1 – Arbre des dépendances



2.3 Unité

2.4 Conclusion

Ainsi

3 Organisation

3.1 Outils utilisés

Voici la liste des outils utilisés pour le développement du jeu :
— Visual Studio Code : Un editeur de code open source et grauit, très extensible et personnalisable.
— Git : Logiciel de gestion de répertoire de code open source et performant.
— GitHub : Plateforme en ligne d'hébergement de répertoire de code Git.
— Live Share : Une extension de Visual Studio Code permettant une collaboration en direct (à la manière d'un Google Docs).
— Ptop : Le formateur de code fourni avec le Free Pascal Compiler.
— Inkscape : Logiciel de dessin vectoriel utilisé pour la création des ressources graphiques du jeu.

3.2 Répartition

Afin d'avoir une répartition du travail homogène. Nous avons adopté une méthode similaire à la méthode « Agile ». C'est à dire que nous avons essayé de diviser le cahier des charges en « tâches élémentaires » le plus équitablement possible en temps de travail. Ces tâches étaient disposés sur un dashboard. Puis, chaques personnes vient récupérer une tâche sur un tableau dès que la précédente est implémenté, testée et validée par les autres. Afin de ne pas avoir à être systématiquement en présentiel pour pouvoir travailler ensemble sur le projet. Nous avons utilisé des outils tels « Git » et « GitHub » pour la gestion du répertoire de code et « Live Share » afin de collaborer le plus facilement possible. C'est pour cela que nous avons utilisé l'éditeur de code Visual Studio Code du fait de sa modularité. Biensur, en cas de soucis où de problème difficile à résoudre (voir section 4), nous nous concertions et élaborions une solution ensemble.

4 Difficultés rencontrés

4.1 Traçage des lignes

4.1.1 Géométrie des lignes

Afin de donner un aspect de « plan de métro » aux lignes de tram. L'affichage des lignes doit se faire uniquement avec des droites horizontales, verticales et obliques (45°). Ce problème, qui nous semblait assez abstrait et abitraire au premiers abords, étaient finalement relativement simple à résoudre avec l'étude d'un des cas possible. Voici notre démarche :

- Deux stations, représentées par les points $S_N = (S_{N,x}, S_{N,y})$ et $S_{N+1} = (S_{N+1,x}, S_{N+1,y})$ (coordonnées centrés des stations), sont séparé par les distances $\Delta_x = S_{N+1,x} - S_{N,x}$ et $\Delta_y = S_{N+1,y} - S_{N,y}$. Les indices N et $N+1$ font référence aux position relatives des stations dans les tableaux de pointeurs de station stoqués dans les objets de type « Type_Line ». Les deux stations forment un angle $\alpha = arctan\left(\frac{\Delta_y}{\Delta_x}\right)$ par rapport à l'axe des abscisses. Soit s_1 le segment passant par S_N et s_2 le segment passant par S_{N+1}. Dans le cas où $-135° < a < -45°$, pour relier les deux stations avec un segment vertical/horizontal et un obliques, il existe plusieurs possibilités :
  - s_1 oblique et s_2 vertical
  - s_1 vertical et s_2 oblique
- Il est important de noter que nous avons choisi comme convention que s_1 serait toujours vertical où horizontal et s_2 oblique.
- Ainsi, le sens et la direction de s_1 et de s_2 sera alors déterminé avec α. Dans notre exemple, s_1 est horizontal et donc part à gauche de S_N. Alors que s_2
- Afin de dessiner ces segments, la SDL à besoin des coordonnées de départ et d'arrivé pour tracer un segment (donc de S_N et I pour s_1 et de I et S_{N+1} pour s_2). Notre objectif est alors de déterminer les coordonnées du point I tel que $I = (I_x, I_y)$ en fonction des coordonnées des stations S_N et S_{N+1}. Par la suite, nous appelleront I, la position intermédiaire.
- Tout d'abord, s_1 étant vertical, on a $I_x = A_x$. On place maintenant le point E, l'intersection de la droite (IB) et de la droite horizontale passant par B. On a alors $E = (A_x, B_y)$. Or, s_2 possède un angle de $\widehat{EIB} = 45°$ par rapport à l'axe des ordonnées (par définition). De plus, l'angle $\widehat{IEB} = 90°$ il s'agit de l'intersection droite verticale et horizontale (donc perpendiculaires). Le triangle IBE étant rectangle en E et possédant un angles à 45°, il est donc rectangle isocèle en E. Cela permet d'en déduire que $\overline{IE} = -\overline{EB}$, or $E = (A_x, B_y)$ on a donc :

$$\overline{IE} = -\overline{EB} \Rightarrow E_y - I_y = -\left(B_x - E_x\right)$$

$$\Rightarrow I_y = -B_x + E_x - E_y$$

$$\Rightarrow I_y = -B_x + A_x - B_y$$

$$\Rightarrow I_y = B_y - \Delta_x$$

On a donc $I = (A_x, B_y - \Delta_x)$. Il suffit

Pour les autres configuration de α, le même raisonnement peut être appliqué. Il faut cependant faire attention aux signes des différentes composantes qui change Ce même raisonnement peut s'appliquer aisément à différents α.

Ainsi, pour les autres cas

- . On remarque assez vite que le triangle formé en bas.

peut être simplifié par l'utilisation de ce qu'on à appelé un point intermédiaire. En effets, sur un plan de métro, on constate que les lignes.

Un autre aspect à été celui de la cohabitation de plusieurs lignes

4.1.2 Épaisseur des lignes

Plus tard dans le développement, nous nous somme rendu compte que le traçage de lignes sans épaisseur (fonction « aadrawlineRGBA » de l'unité SDL GFX) rendait le repérage des lignes peu distinguables du reste. Or la SDL ne supporte pas nativement le traçage des lignes d'une épaisseur donnée. Nous nous sommes penchés sur l'unité « SDL GFX » qui possède une fonction « thickLineRGBA » permetant de dessiner des lignes avec une épaisseur. Malheureusement, les liens entre l'implémentation C de la SDL et le Free Pascal Compiler étant incomplets, la fonction n'était pas accessible en Free Pascal. Cet soucis n'ayant pas été anticipé, nous avons donc dû réfléchir à une solution simple pour contourner le soucis. Ainsi, à partir de la fonction « aadrawlineRGBA » et de l'angle de la ligne. Nous avons dessiné des lignes superposé les unes par rapport aux autres. Permetant ainsi de créer une ligne épaisse. Dans le cas de ligne verticales et horizontales, il est assez aisé de dessiner une ligne épaisse en incrémentant et décrémentant x où y autour du centre de la ligne :

Cependant, dans le cas de lignes obliques, ce raisonnement n'est pas valide.

4.2 Résolution des itinéraires des passagers

Toute la difficulté du jeu reposant sur la performance du réseau créé, il était impératif pour nous que les passagers fassent preuve d'intelligence dans leur choix d'itinéraire. Dans le cas contraire, il n'y aurait aucune incitation à construire un plan de réseau efficace. La recherche du plus court chemin est un problème informatique classique, et de nombreux algorithmes existent pour sa résolution. Nous ne sommes pas mathématiciens ni chercheurs, alors nous avons décidé d'en adopter un assez connu, l'algorithme de Dijkstra. Cet algorithme est supposé être de complexité $\mathrm{O}\left((n+a)\log(n)\right)$. Cependant, étant donné que nous avons fait l'implémentation de cet algorithme assez théorique de nous même, en s'inspirant seulement de son fonctionnement quand exécuté « à la main », il serait très peu surprenant d'apprendre que sa complexité s'en soit trouvée agrandie. L'écriture des fonctions et procédures liées à la résolution d'itinéraire en elle même n'a pas présenté de difficulté majeure, l'algorithme n'étant pas excessivement compliqué à appréhender. En revanche, toutes les subtilités d'allocation de mémoire, les tableaux sur plusieurs dimensions, la rigueur dans le choix des indexes, ou bien la fragmentation des différentes tâches prérequises à l'exécution de Dijkstra dans de nombreuses fonctions, eux, ont été source de bugs ayant nécessité de longues heures de débogage.

4.3 Animation réaliste des trains

Afin que le mouvement des trains soit réaliste, au lieu d'une vitesse constante, nous avons opté pour une vitesse variable dépendant du temps. Le but étant de mimer le déplacement d'un véhicule réel. On définit alors deux constante : t_a qui est le temps prit par le train pour accélérer, et v_m la vitesse maximale du train. Ainsi, pour le déplacement du véhicule, on peu définir trois périodes :

— L'accélération : entre 0 et t_a, la vitesse du train augmente linéairement jusqu'à atteindre : v_m.

— Croisière : entre t_a et t_d, la vitesse du train est constante et maximale : v_m.

— Décélération : entre t_d et $t_d + t_a$, la vitesse du train diminue linéairement jusqu'à atteindre : v_m .

Soit $t \in [0, t_d + t_a]$ le temps écoulé depuis le départ du train. Avec ces 3 périodes on peut définir la fonction vitesse définie par morceau :

$$v(t) = \begin{cases} v_1(t) = t \times \frac{v_m}{t_a} & \text{si } 0 \leqslant t \leqslant t_a \\ v_2(t) = v_m & \text{si } t_a < t \leqslant t_d \\ v_3(t) = (t - t_d) \times \frac{-v_m}{t_a} + v_m & \text{si } t_d < t \leqslant t_d + t_a \end{cases} , \forall t \in [0, t_d + t_a]$$

Ce qui nous intéresse, c'est d'obtenir la position du train en fonction de t. D'après nos cours de mécanique du point, la vitesse est la dérivée de la distance par le temps. On a donc :

$$v(t) = \frac{d}{dt} d(t) \Leftrightarrow d(t) = \int v(t)\, dt$$

$$d(t) = \begin{cases} d_1(t) = \int_0^t v_1(t) = \frac{t^2}{2} * v_m & \text{si } 0 \leqslant t \leqslant t_a \\ d_2(t) = d_1(t_a) + \int_{t_a}^t v_2(t) = d_1(t_a) + (t - t_a) * v_m & \text{si } t_a < t \leqslant t_d \\ d_3(t) = d_2(t_2) + \int_{t_d}^t v_3(t) = d_2(t_2) + & \text{si } t_d < t \leqslant t_d + t_a \end{cases} , \forall t \in [0, t_d + t_a]$$

Maintenant, nous avons distance en fonction du temps. Il suffit maintenant d'implémenter d_1, d_2 et d_3 et d'utiliser des instructions conditionnelles déterminer laquelle utiliser en fonction du temps et des domaines de définition de chacune.

4.4 Optimisations

Au fur et à mesure que le projet avançait et que les ressources graphiques se multipliaient. Nous nous somme heurté à un problème de performance qui affectait la fluidité du jeu. Ainsi, après quelques recherches, nous avons procédé à quelques optimisations relativement simples :

— Tout d'abord, lorsque la SDL créer des surface à partir d'images importés, cette dernière ont une format de pixel (profondeur de couleur, masques, cannal alpha ...) qui n'est pas forcément le même que celui de l'affichage. Or, lors du rendu (fonction « SDL_BlitSurface »), la SDL doit effectuer une convertion à la volée pour rendre la surface sur l'écran. Cette conversion nécéssite beaucoup de temps de calculs. Cependant, il est possible de s'affranchir de cette conversion à la volée en en effectuant la convertion dès l'importation de la ressource graphique. Cette convertion est alors effectué, avec la fonction SDL_VideoFormat qui prend pour paramètre la surface à convertir, et renvoi une nouvelle surface, qui est la conversion de la première. Enfin, pour que cette convertion soit réellement effective, il faut également modifier les clée ? ? ? . Dans le cas d'utilisation surface avec un canal Alpha (RGBA), il plutot utiliser la fonction SDL_Format afin qu

— Ensuite, il est possible d'utiliser l'accélération graphique matériel pour certains calculs graphiques (notamment pour l'anti-crénelage, les calculs géométrique pour le dessin des formes, la copie de mémoire massive etc.). Il faut remplaceavec l'option SDL_SWSURFACE par SDL_HWSURFACE dans la fonction qui instancie la fenêtre (SDL_SetVideoMode) pour activer cette fonctionnalité. Cependant, cette optimisation est conditionnée au support d'interfaces de programmation (API) graphiques spécifiques au matériel et aux pilotes d'une machine (OpenGL). Ainsi, sur des configurations plus exotiques ou anciennes, il se peut que des problèmes de compatibilités empêchent le lancement du jeu.

4.5 Interface graphiques

Une interface graphique est nécéssaire pour que l'utilisateur puisse interragir avec notre jeu. Or la SDL est une librairie très rudimentaire en terme de fonctionnalité. Cependant, la création d'une interface graphique pour . Nous avons donc créer une petite abstraction pour les différents éléments de l'interface pour permetre. Cette abstraction est constitués de :

— Type :

5 Conclusion

j